

К. В. Кетова, И. Г. Русяк

Идентификация и прогнозирование обобщающих показателей развития региональной экономической системы

В работе предложена экономико-математическая модель региональной экономической системы, которая наряду с вещественным капиталом учитывает человеческий капитал. Построен алгоритм идентификации неизвестных параметров модели на основе генетического алгоритма с вещественным кодированием и метода Хука—Дживса. Расчеты по идентификации и прогнозированию проведены на примере Удмуртской Республики.

1. Введение. Математическая модель экономической системы региона

При формулировке математической модели экономической системы региона учтем, что региональная экономика взаимодействует с внешней экономической средой посредством кредитов, инвестиций, налогообложения, дотаций, трансфертов и субвенций (рис. 1). При этом далее механизм воздействия кредитов и инвестиций на экономику региона будем отождествлять между собой.

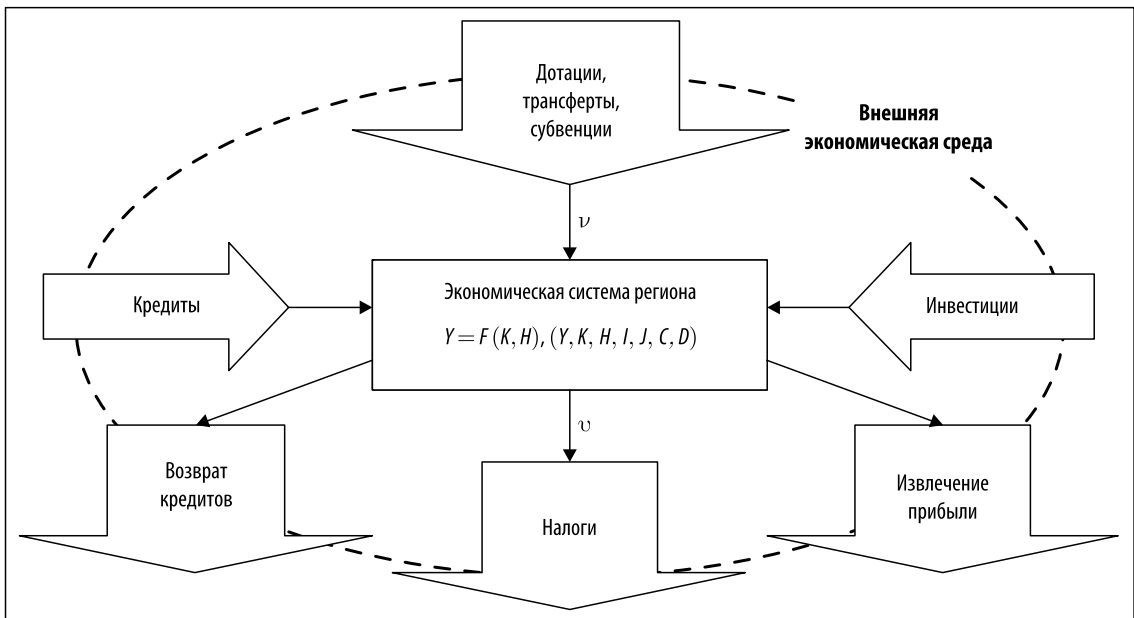


Рис. 1. Схема взаимодействия экономики региона с внешней экономической средой

В качестве показателей макроэкономической системы региона примем:

- 1) объем произведенной продукции Y ;
- 2) стоимость основных производственных фондов (ОПФ) или производственного капитала K ;
- 3) стоимость человеческого капитала H ;
- 4) объемы инвестиций в производственный капитал I ;
- 5) объемы инвестиций в человеческий капитал J ;
- 6) объем потребления C ;
- 7) доходы регионального бюджета D .

Таким образом, соответствующий паспорт неизвестных задачи имеет вид:

$$(Y, K, H, I, J, C, D)_t,$$

где t — время.

Коэффициенты ν и ψ будут определены ниже.

Производственную функцию примем в виде

$$Y = F(K, H) = AK^\alpha H^\beta,$$

где параметры A , α , β определяются по статистическим данным экономической системы [Русяк, Кетова (2008)].

Запишем основное балансовое уравнение макроэкономической модели региона, используя схему воспроизводства экономики, приведенную на рис. 2:

$$Y_t + B_t + T_t - N_t^F - R_t = I_{t+1} + J_{t+1} + C_{t+1}, \quad (1)$$

где B_t — внешние инвестиции в экономику региона;

R_t — внешний долг;

N_t^F — налоговые отчисления в федеральный бюджет;

T_t — дотации, трансферты, субвенции. Нижний индекс в данном случае характеризует зависимость переменных от времени.

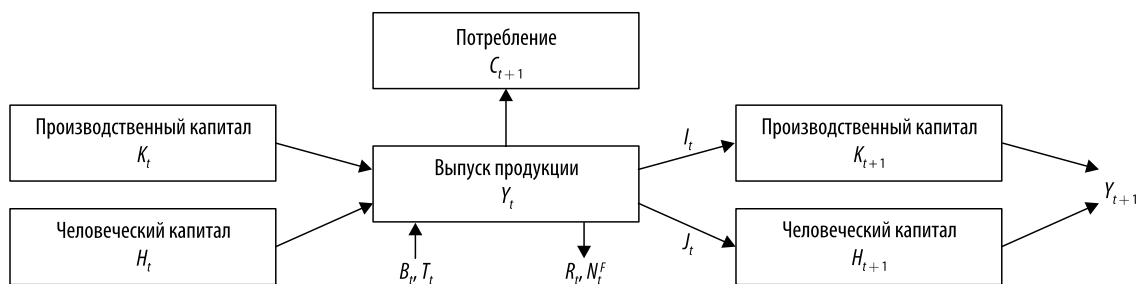


Рис. 2. Схема цикла воспроизводства региональной экономики

В относительных переменных балансовое уравнение имеет вид:

$$s_0 + s_k + s_h - s_b = 1,$$

где $s_0 = \frac{C}{E}$ — уровень потребления;

$s_k = \frac{I}{E}$ — норма инвестиций в основные производственные фонды (капиталовложения);

$s_h = \frac{J}{E}$ — норма инвестиций в человеческий капитал;

$s_b = \frac{B}{E}$ — уровень внешних инвестиций; $E = Y + T - N^F - R$.

Балансовое уравнение (1) содержит эндогенные и экзогенные параметры. К последним относятся параметры $(B, R, N^F, T)_t$. При этом внешний долг R_t определяется динамикой поступления кредитов B_t , политикой возврата кредита, или темпом его погашения σ , и процентной ставкой по кредитам p .

Для описания формирования дохода регионального бюджета используем схему, приведенную на рис. 3.

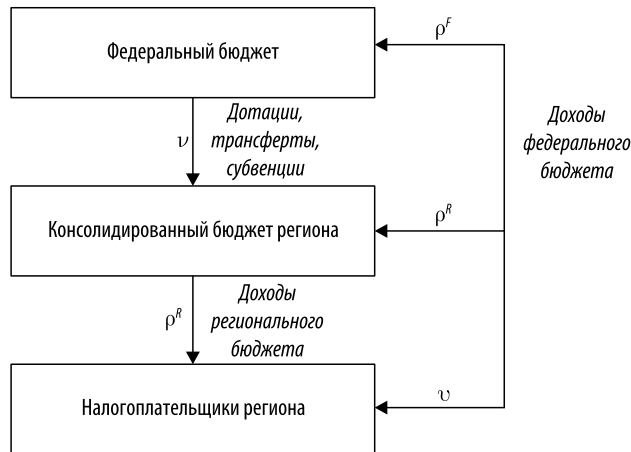


Рис. 3. Схема бюджетного взаимодействия региона с внешней средой

Пусть

$$N = N^F + N^R,$$

где N^F, N^R — налоги, собираемые на территории региона, поступающие в федеральный и региональный бюджеты соответственно.

Обозначим

$$\rho^F = \frac{N^F}{N}, \quad \rho^R = \frac{N^R}{N},$$

где ρ^F и ρ^R — соответствующие доли отчислений,

тогда $\rho^F + \rho^R = 1$.

Объем налогов определяется через долю ν объема реализованной продукции Y (рис. 1): $N = \nu Y$. Федеральное бюджетное регулирование выразим через пропорцию ν (рис. 1) ввоза средств в виде дотаций, трансфертов, субвенций как долю от уровня региональных налогов [Булгаков В. К., Булгаков О. В. (2006)]:

$$T = \nu N^R,$$

где $N^R = \rho^R \nu Y$.

Консолидированный доход региона можно записать в виде:

$$D = N^R + T = (1 + \nu) \rho^R \nu Y.$$

Для описания динамики ОПФ, или K , человеческого капитала H и внешнего долга Z используем эволюционные уравнения, рассмотренные в работах [Кетова (2007)]; [Русак, Кетова (2007)].

Таким образом, общая постановка задачи макроэкономической динамики включает следующие соотношения:

$$E = Y + T - N^F - R = I + J + C - B, \quad (2)$$

$$s_0 + s_k + s_h - s_b = 1, \quad (3)$$

$$Y = F(K, H) = AK^\alpha H^\beta, \quad (4)$$

$$C = s_0 E, I = s_k E, J = s_h E, B = s_b E, T = \nu \rho^R \nu Y, N^F = \rho^F \nu Y, \quad (5)$$

$$E = \omega F(K, H), \omega = 1 + \nu \rho^F \left[\nu \left(\frac{\rho^R}{\rho^F} \right) - 1 \right], D = (1 + \nu) \rho^R \nu Y, \quad (6)$$

$$\dot{K}(t) = s_k E(t) - \eta K(t), K_0 = K(t_0), K_T = K(t_T), \quad (7)$$

$$\dot{H}(t) = s_h \bar{e} E(t) - \chi H(t), H_0 = H(t_0), H_T = H(t_T), \quad (8)$$

$$\dot{Z}(t) = s_b E(t) - \sigma Z(t), Z_0 = Z(t_0), Z_T = Z(t_T); R(t) = (p + \sigma) Z(t), \quad (9)$$

где η и χ — коэффициенты выбытия производственного и человеческого капитала соответственно;

σ — как было указано выше, темп погашения кредита;

\bar{e} — усредненная по всем возрастам доля населения, участвующего в общественном производстве.

2. Алгоритм идентификации модели

Систему уравнений (2)—(9) можно представить в виде:

$$\dot{x} = f(x, z, a, t), \quad (10)$$

$$F_1(x, z, a) = 0, \quad (11)$$

$$F_2(x, z, a) \leq 0, \quad (12)$$

где $x = (K, H, Z)$ — вектор фазовых переменных;

F_1, F_2 — вектор-функции ограничений;

$z = (Y, P, L, L^o, I, J, C, D, B, T, R, N^F, N^R)$ — вектор дополнительных переменных (здесь P — общая численность населения (population); L — численность трудовых ресурсов (labor); L^o — численность населения трудоспособного возраста);

$a = (a_i) = (A, \alpha, \beta, \eta, \bar{\epsilon}, \chi, \nu, \nu, \rho_F, \rho_R, \sigma, \rho, s_0, s_k, s_h, s_b)$ вектор параметров системы, причем

$$0 \leq a_i^{\min} \leq a_i \leq a_i^{\max},$$

где a_i^{\min}, a_i^{\max} — минимальные и максимальные значения соответствующих параметров.

Задача идентификации состоит в следующем. Известно (например, из опыта) поведение системы $x(t)$. Необходимо подобрать коэффициенты a_i таким образом, чтобы отклонение поведения системы, которое определяется решением уравнений (10) при наличии ограничений (11) и (12), от заданного поведения было бы минимальным.

Точное решение задачи идентификации во многих случаях не представляется возможным. Алгоритмы ее приближенного решения формально мало отличаются от алгоритмов решения задач математического программирования [Федоренко (1994)]. При практической реализации алгоритмов существуют проблемы, связанные с дифференцируемостью функционалов и наличием многих экстремумов целевой функции.

Реализация вычислительной схемы требует конечно-разностной аппроксимации задачи (10). На отрезке $[t_0, t_T]$ вводится сетка $t_0 < t_1 < \dots < t_N = t_T$; при этом дифференциальные уравнения (10) заменяются дискретным аналогом

$$y^{n+1} = \Lambda(y^{n+1}, y^n, z^{n+1}, z^n, a, t_n), n = \overline{0, N-1}, \quad (13)$$

где Λ — оператор, определяющий метод численного интегрирования;

y — сеточная функция, аппроксимирующая x .

Условие минимизации отклонения поведения системы (13) от заданного поведения x_d в заданных точках оси времени $t \in [T_0, T_1]$ принимается в виде

$$J(a) = \sum_{t \in [T_0, T_1]} \frac{(y^t - x_d^t)^2}{(x_d^t)^2} \rightarrow \min_{a_i}; a_i \in [a_i^{\min}, a_i^{\max}]. \quad (14)$$

Если $J(a) \rightarrow 0$, то $y^t \rightarrow x_d^t, a \rightarrow a^0$, где a^0 решение задачи идентификации (10)—(14).

Таким образом, задача идентификации сводится к задаче математического программирования:

$$J(a) \Rightarrow \text{ext}; G_1(a) = 0, G_2(a) \leq 0. \quad (15)$$

Выбор метода оптимизации определяется особенностями решаемой задачи. Хорошо разработанный аппарат математического программирования предлагает множество различных алгоритмов, но при их практической реализации существуют такие проблемы, как многоэкстремальность и выбор начального приближения. Для решения оптимизационных задач, имеющих сложности такого рода, предлагается применять гибридные алгоритмы

(ГБА): генетические алгоритмы (ГА) в комбинации с градиентными методами оптимизации [Курейчик (2000)]; [Тененев, Паклин (2003)].

При использовании ГА для решения оптимизационных задач параметры оптимизации представляются в виде *кодированных значений (генов)* [Рутковская (2004)]. Совокупность генов образует *хромосому*. Из хромосом составляется *популяция*. Каждой хромосоме ставится в соответствие *функция приспособленности*, которая выступает мерой качества решения, описываемого данной особью. В качестве функции приспособленности выступает целевая функция задачи (14).

На каждой итерации ГА путем применения генетических операторов происходит эволюция исходной популяции, т. е. происходит изменение информации, содержащейся в хромосомах. Блок-схема ГА представлена на рис. 4.

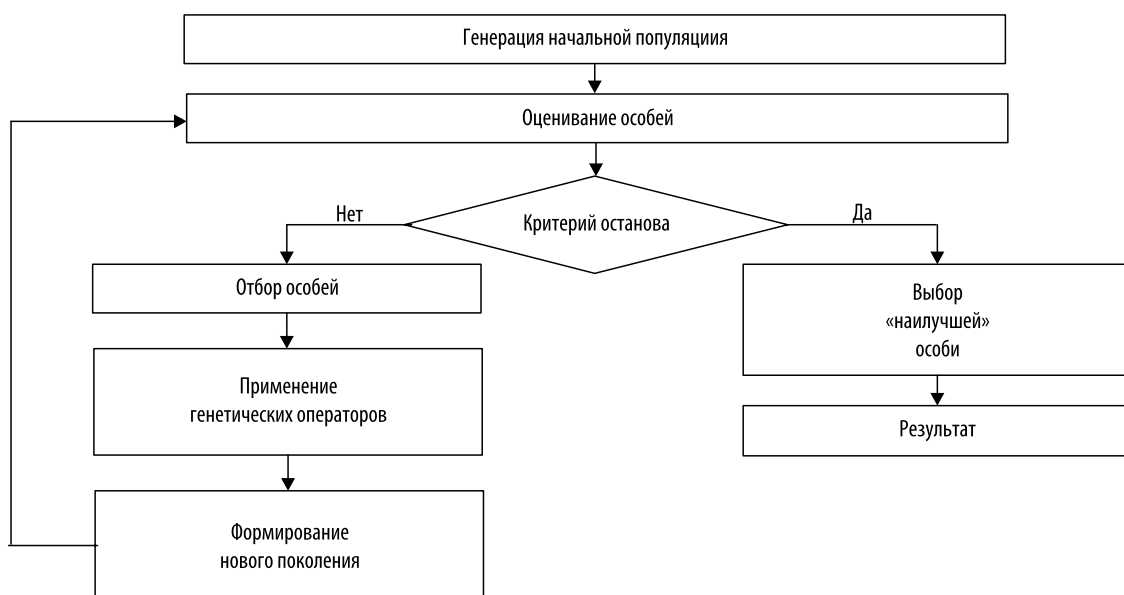


Рис. 4. Блок-схема генетического алгоритма

Для представления параметра оптимизации в виде гена хромосомы применяются различные способы кодирования [Рутковская (2004)], [Тененев (2006)]. В случае вещественного кодирования параметр приводится к безразмерному виду с помощью преобразования:

$$b_i = \frac{a_i - a_i^{\min}}{a_i^{\max} - a_i^{\min}}, i = \overline{1, N}. \quad (16)$$

Соответственно обратное преобразование будет иметь вид:

$$a_i = a_i^{\min} + b_i(a_i^{\max} - a_i^{\min}), i = \overline{1, N}. \quad (17)$$

Пример хромосомы в случае вещественного кодирования представлен на рис. 5.

После того как каждой особи поставлено в соответствие значение функции приспособленности (14), осуществляется отбор особей с целью выбора тех представителей, которые будут участвовать в создании новой популяции.

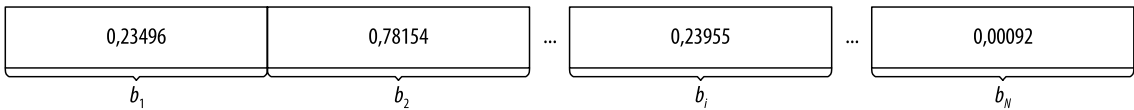


Рис. 5. Пример хромосомы в случае вещественного кодирования

Существует множество типов *операторов отбора*: например, метод рулетки, турнирный отбор, ранговый отбор. Будем применять турнирный отбор, суть которого заключается в том, что из популяции выбираются m_t особей и среди них определяется особь, имеющая наилучшее значение функции приспособленности. Эта операция продолжается до тех пор, пока не будет получено нужное число родительских особей для формирования следующего поколения. Значение m_t называется размером турнира.

После создания родительской популяции к ней применяются так называемые *генетические операторы*. Среди генетических операторов, как правило, используются операторы скрещивания, мутации и инверсии.

Результатом реализации оператора скрещивания является формирование потомков на основе родительских особей. Суть действия оператора скрещивания состоит в выборе точки разрыва внутри хромосомы с последующим обменом информацией, располагающейся за точкой разрыва, между двумя родительскими особями. Пример механизма действия од-ноточечного оператора скрещивания для вещественного кодирования приведен на рис. 6.

Отметим, что операторов скрещивания, или механизмов формирования особей потом-

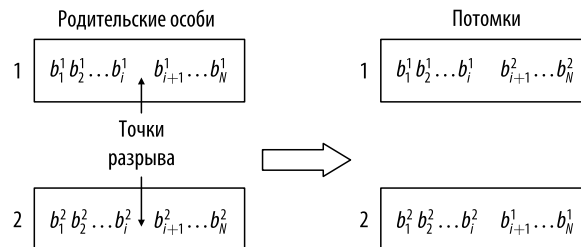


Рис. 6. Механизм действия од-ноточечного оператора скрещивания

ков, существует достаточно много. Воспользуемся оператором скрещивания Bin2, который приведен в работе [Тененев (2006)]:

$$c_i = \alpha b_i^1 + \beta b_i^2, i = \overline{1, N}, \quad (18)$$

где c_i — значение i -го элемента потомка;

b_i — значение i -го гена родительской особи;

$\beta = 2^{-1}(2^{-u})^{R-1}$; $\alpha = 1 - \beta$; $u \in [0; 1]$ — случайная величина, имеющая равномерный закон распределения;

R — параметр, отражающий количество разрядов для кодирования вещественного числа.

Следующим генетическим оператором является оператор мутации. Он предназначен для внесения случайных изменений в информацию, содержащуюся в хромосоме, и, как оператор скрещивания, имеет достаточно разнообразные варианты реализации. Критерием ка-

чества оператора мутации служит его способность производить небольшие изменения с высокой долей вероятности и с низкой вероятностью — большие.

Будем использовать оператор мутации, определяемый по формуле [Muhlenbein, Schlierkamp-Voosen (1993)]:

$$c_i^m = c_i + s_i r_i \beta_i, \quad (19)$$

где $\beta_i = 2^{-k_i}$; $k \in [4; 20]$;

$r_i \in [4; 5]$ — диапазон шага рекомбинации;

$s_i \in \{-1, +1\}$ — направление рекомбинации.

В генетических алгоритмах также применяется оператор инверсии. Суть его работы заключается в разбиении хромосомы случайным образом на две части с последующей их перестановкой (рис. 7).

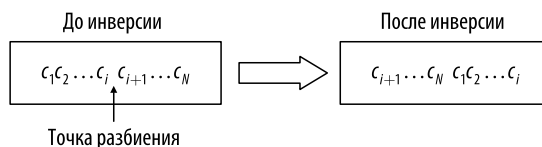


Рис. 7. Действие оператора инверсии

Реализация операторов скрещивания, мутации и инверсии носит вероятностный характер. При практической реализации генетических операторов задают некоторое фиксированное число p_f , затем производится генерация случайного числа p из отрезка $[0; 1]$. Если $p \leq p_f$, то оператор выполняется. Для оператора скрещивания $p_f \in [0, 5; 1]$, в то время как для операторов мутации и инверсии $p_f \in [0; 0, 1]$ [Рутковская (2004)].

Еще одним важным аспектом ГА является способ формирования следующего поколения особей, который может происходить на основе различных стратегий. В нашем случае была использована *элитарная стратегия*. При выборе данной стратегии одна или несколько лучших особей переходят в следующую популяцию в случае, если в результате применения генетических операторов были получены особи, среди которых лучшее значение функции приспособленности хуже, чем у лучшей особи (одной или нескольких) предыдущего поколения. Это сделано для того, чтобы предотвратить потерю лучшего решения при переходе от старого поколения к новому.

Для решения задачи идентификации параметров модели (15) был использован генетический алгоритм с вещественным кодированием с применением следующих генетических операторов и стратегий:

1) стратегия отбора — турнирный отбор (размер турнира — 4);

2) оператор скрещивания, который основан на вероятностном применении двух типов операторов — применяется двухточечный оператор, и в данном случае между двумя точками разрыва хромосомы происходит получение новых генов с использованием оператора Bin2 вида (18) (рис. 8);

3) оператор мутации. Каждый ген подвергается мутации с вероятностью, равной $\frac{1}{m_g}$,

где m_g — количество генов. Новое значение гена вычисляется по формуле (19);

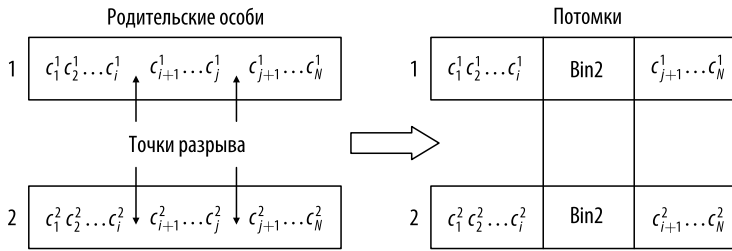


Рис. 8. Действие двухточечного оператора скрещивания совместно с оператором Bin2

4) оператор инверсии, который состоит в перестановке частей хромосом, разделенных случайным образом;

5) стратегия формирования следующего поколения — элитарная стратегия (одна элитная особь).

В используемой гибридной схеме генетический алгоритм с вещественным кодированием является основным методом оптимизации. Дополнительным методом является метод Хука—Дживса.

Метод Хука—Дживса имеет ряд преимуществ [Лесин, Лисовец (1995)], а именно:

1) в отличие от методов оптимизации, использующих производные, он не требует дифференцируемости целевой функции;

2) в процессе организации вычислительного поиска не требуется решения задач одномерной минимизации (как, например, при методе сопряженных направлений);

3) в отличие от генетического алгоритма обладает более высокой скоростью сходимости вблизи точки экстремума.

Алгоритм метода Хука—Дживса состоит из процедуры, определяющей направление убывания минимизируемой функции (исследующий покоординатный поиск), и процедуры перемещения в направлении убывания.

Применяемый гибридный алгоритм основан на последовательной работе генетического алгоритма и метода Хука—Дживса. Суть работы гибридного алгоритма заключается в том, что на каждой (очередной) итерации основного метода предпринимается попытка улучшения решения с помощью дополнительного метода оптимизации. Благодаря этому гибридный алгоритм повышает адаптационные свойства каждого из методов, применяемых в данной схеме, и дает в большинстве случаев лучшие результаты, чем отдельные методы.

Тестирование алгоритмов производилось на наборе стандартных функций, таких как функции Розенброка, Растригина, Экли [Евтушенко (1982)] и др. Во всех случаях достигнута приемлемая точность определения глобального экстремума, при этом подтверждена высокая работоспособность данного гибридного алгоритма.

3. Результаты программной реализации модели

Рассмотрим представленную модель на примере статистических данных по Удмуртской Республике (УР).

Использовать статистические данные переходного периода экономики в их первоначальном виде практически невозможно, поскольку они испытывают значительные и трудно-

объяснимые колебания, вызванные перестройкой экономической системы. Поэтому для повышения точности моделирования вначале производилось сглаживание колебаний временных рядов методом скользящей средней.

Полученные таким образом исходные временные ряды основных экономических параметров УР за 1996–2006 гг., построенные по статистическим данным [Удмуртия в цифрах (1996–2006)]; [Закон о бюджете УР (1996–2006)]; [Основные фонды УР (1996–2006)]; [Доходы, расходы и потребление домашних хозяйств (2006)]; [Отчетность Федеральной налоговой службы (2007)]; [Основные итоги деятельности Государственного совета УР (2007)], представлены в табл. 1.

При решении задачи идентификации, следуя «Отчетности Федеральной налоговой службы» (2007), полагали, что доли отчислений в федеральный и региональный бюджеты до 2002 г. включительно одинаковы: $\rho^F = \rho^R = 0,5$. Начиная же с 2006 г. эти доли составляют: $\rho^F = 0,7$ и $\rho^R = 0,3$, при этом в данном временном промежутке они изменяются линейным образом. Напомним, что $\rho^F + \rho^R = 1$.

В качестве минимизируемого функционала выбран функционал (14), где вектор моделируемых макроэкономических характеристик, определяемый из системы уравнений (2)–(8), задан в виде $y = (Y, K, H, I, J, N^F, N^R, T)$; $t \in [1996, 2006]$. Известное поведение системы $x_d = (Y, K, H, I, J, N^F, N^R, T)_d$, в заданных точках оси времени $t \in [1996, 2006]$ определяется из табл. 1. Вектор варьируемых параметров имел вид $a = (a_i) = (\eta, \bar{\epsilon}, \chi, v, \nu, s_0, s_k, s_h)$.

Решение задачи идентификации представлено в табл. 2 и 3.

В табл. 4 приведены средние относительные отклонения расчетных экономических показателей от их статистических значений за период ретропрогноза, определяемые по формуле:

$$\zeta_y = \frac{1}{M_{x_d}} \sum_{t \in [T_0, T_1]} \frac{|y^t - x_d^t|}{x_d^t}, y = \{Y, K, H, I, J, N^F, N^R, T, D\}, \quad (20)$$

где M_{x_d} — количество заданных точек показателя x на оси времени в периоде ретропрогноза.

Из анализа величины ζ_y следует, что для годового производства продукции среднее за 1996–2006 гг. отклонение составляет 4,09%, величина основного регионального капитала — 8,05%, человеческого капитала — 8,11%. Расхождение между расчетными и статистическими данными по уровню суммарного потребления и региональным бюджетом за исследуемый период составляет 11,20 и 7,07% соответственно.

Полученные таким образом значения параметров системы (см. табл. 3) были приняты базовыми в прогнозных расчетах на 2007–2016 гг. Результаты прогнозирования абсолютных и относительных (на демографическую единицу или единицу трудовых ресурсов) параметров экономики УР на основе предложенной модели приведены в табл. 5 и 6.

На рис. 9–11 представлены изменения расчетных макроэкономических параметров с 1996 по 2016 г. Здесь же отражены результаты сравнения расчетных и статистических данных за период ретропрогноза. На рис. 12 и 13 приведены кривые изменения соответствующих удельных показателей за этот же период.

Исходные данные макроэкономических показателей экономики УР в ценах 2006 г.

Обозначение	1996 г.	1997 г.	1998 г.	1999 г.	2000 г.	2001 г.	2002 г.	2003 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.
Y, млн руб.	113 971,6	103 819,9	119 805,9	130 629,8	140 412,9	128 794,0	125 684,2	125 957,8	128 024,2	131 817,0	136 655,1
K, млн руб.	775 903,5	721 594,0	675 827,1	599 839,1	500 876,7	409 730,0	381 166,2	371 453,7	373 078,2	386 568,4	399 996,8
H, млн руб.	67 539,8	70 974,9	77 373,4	86 067,0	93 306,4	94 036,6	88 870,5	83 584,7	82 175,0	86 617,0	92 848,9
B, млн руб.	—	—	5161,8	5144,3	5016,2	2913,5	2944,3	2898,6	1165,9	1266,7	1707,4
I, млн руб.	24 222,7	20 423,8	22 193,3	22 516,9	25 522,2	21 949,4	19 584,6	17 465,3	21 255,0	26 117,9	32 656,5
J, млн руб.	7265,2	7977,9	8700,5	9579,9	10 973,1	11 663,2	9781,8	7867,2	8011,8	9638,5	11 668,3
C, млн руб.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
N ^F , млн руб.	—	—	—	—	—	—	22 233,8	23 573,5	29 459,1	36 924,2	46 288,3
N ^P , млн руб.	—	—	—	—	—	—	21 275,1	20 388,6	19 197,8	18 891,5	18 541,3
T, млн руб.	—	—	—	—	—	—	44 85,8	3007,8	2648,9	2268,4	2405,3
D, млн руб.	—	—	—	—	—	—	25 760,9	23 396,5	21 846,7	21 159,9	20 946,7
L ^o , чел.	933 400	948 100	959 300	973 000	986 800	968 437	972 298	979 074	988 658	993 052	989 600
L, чел.	639 600	669 700	700 800	744 700	767 800	792 900	782 000	781 200	772 900	792 900	766 000
P, чел.	1 612 600	1 607 700	1 604 000	1 601 400	1 595 600	1 588 100	1 578 200	1 568 200	1 560 200	1 552 800	1 544 400

Таблица 2
Расчетные данные макроэкономических показателей экономики УР в ценах 2006 г., млн руб.

Обозначение	1996 г.	1997 г.	1998 г.	1999 г.	2000 г.	2001 г.	2002 г.	2003 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.
Y	113 216,9	115 700,7	118 071,3	120 343,0	122 530,7	124 650,5	126 718,4	128 750,6	130 514,4	132 016,7	133 263,8
K	765 214,6	689 227,6	623 095,7	565 575,9	515 581,8	472 164,8	434 497	401 856,1	373 055,8	347 560,5	324 905,2
H	64 821,9	68 106,1	71 374,7	74 622,7	77 845,9	81 041,2	84 206,6	87 340,9	90 263,8	92 965,9	95 439,7
B	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
I	19 994,7	20 433,3	20 852,0	21 253,2	21 639,6	22 013,9	22 379,1	22 172,9	21 903,7	21 576,4	21 195,2
J	8348,1	8531,3	8706,1	8873,6	9034,9	9191,2	9343,7	9257,6	9145,2	9008,5	8849,4
C	66 991,5	68 461,2	69 863,9	71 208,1	72 502,6	73 756,8	74 980,4	74 289,4	73 387,6	72 290,8	71 013,8
N ^F	20 786,6	21 242,6	21 677,9	22 094,9	22 496,5	22 885,8	23 268,1	26 005,4	28 758,1	31 513,3	34 257,9
N ^R	20 786,6	21 242,6	21 677,9	22 094,9	22 496,5	22 885,8	23 268,1	21 277,1	19 172,1	16 968,7	14 681,9
T	2910,1	2974,0	3034,9	3093,3	3149,5	3204,0	3253,1	2974,7	2680,4	2372,4	2052,7
D	23 696,7	24 216,6	24 712,8	25 188,2	25 646,0	26 089,8	26 521,2	24 251,9	21 852,6	19 341,1	16 734,7

Таблица 3

Параметры модели

A	α	β	η	$\bar{\varepsilon}$	χ	ν	ν	s_0	s_k	s_h	ω
1,120	0,180	0,820	0,131	0,750	0,046	0,367	0,140	0,704	0,208	0,088	0,760

Таблица 4

Средняя погрешность определения макроэкономических показателей экономики УР за период ретропрогноза

Параметр	Y	K	H	I	J	N ^F	N ^R	T	D
Погрешность, ζ , %	4,09	8,05	8,11	12,86	12,28	11,60	8,97	9,80	7,07

$Y \cdot 10^{-3}$, млн руб.

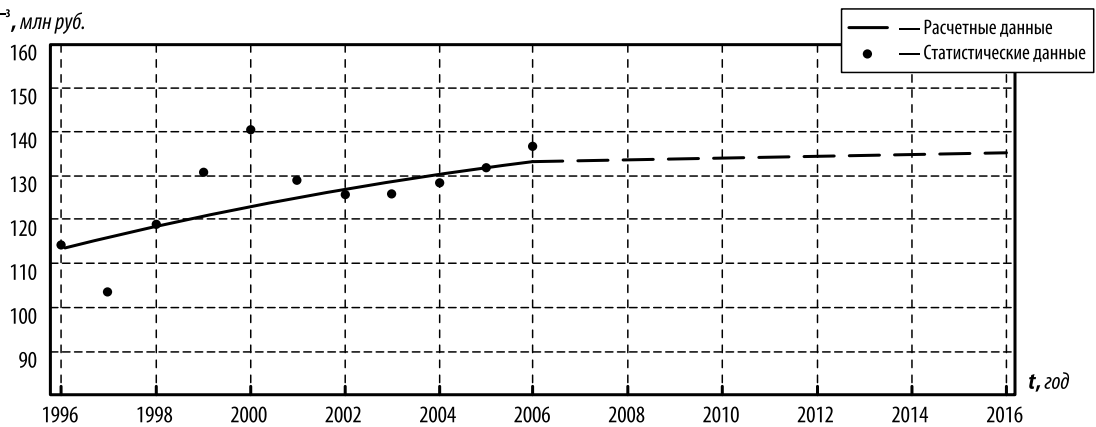


Рис. 9. Динамика изменения валового регионального продукта

$K \cdot 10^{-3}$, млн руб.

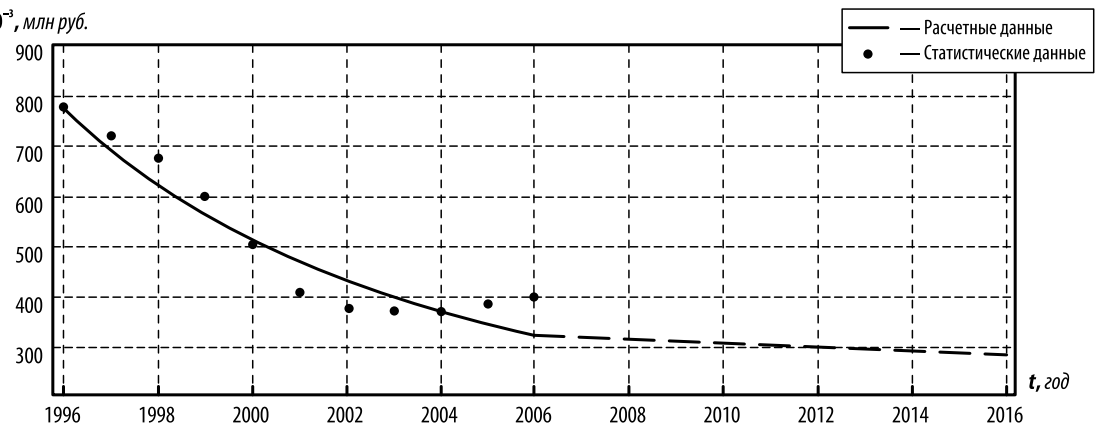


Рис. 10. Динамика изменения производственного капитала

$H \cdot 10^{-3}$, млн руб.

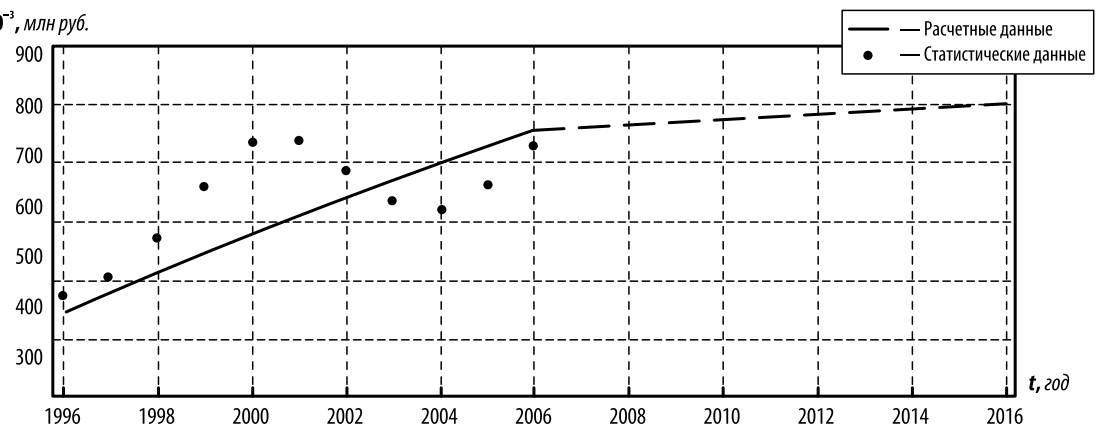


Рис. 11. Динамика изменения человеческого капитала

y^p, c^p , тыс. руб. чел.

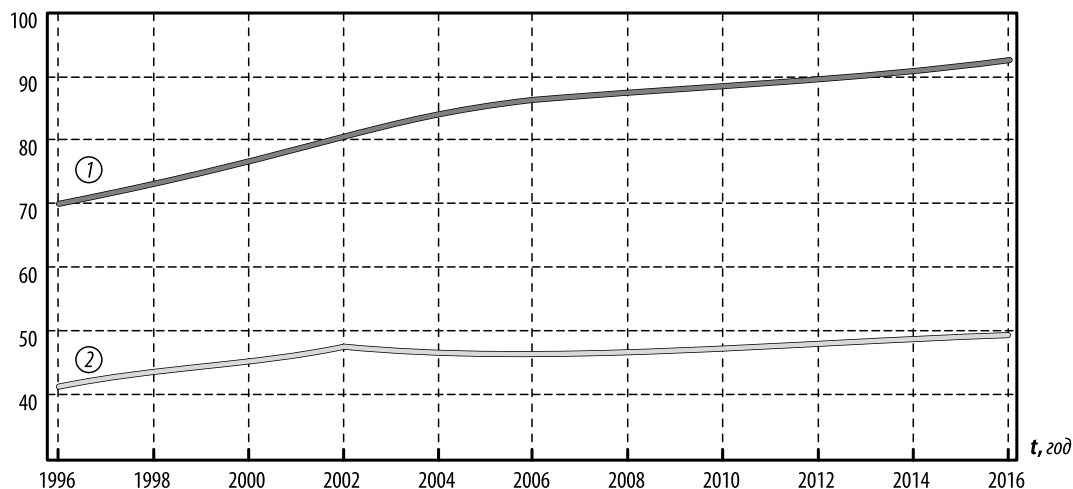


Рис. 12. Динамика изменения удельных значений валового регионального продукта (1) и общественного потребления (2)

k^L , тыс. руб. /чел.

h^L , тыс. руб. /чел.



Рис. 13. Динамика изменения фондовооруженности (1) и капиталовооруженности (2) труда

Анализируя полученные данные, можно сделать следующие выводы:

- экономика Удмуртской Республики находится на этапе стабильного роста всех макроэкономических показателей;
- темп роста экономики невелик; по удельному ВРП составляет около 2%, по уровню удельного общего потребления — около 1% в год.

В табл. 6 приведены удельные показатели (см. формулу (20)); верхний индекс p указывает на то, что показатель рассчитан на единицу общей численности населения региона, верхний индекс L — что показатель приведен в расчете на единицу трудовых ресурсов.

Таблица 5

Прогнозные значения абсолютных макроэкономических показателей экономики УР в ценах 2006 г., млн руб.

Обозначение	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.
Y	133 515,8	133 768,9	134 022,4	134 276,3	134 530,7	134 785,6	135 041,2	135 297,4	135 554,4	135 319,8
K	321 287,7	317 766,1	314 337,7	311 000,3	307 751,8	304 590,1	301 512,9	298 518,4	295 604,5	287 203,4
H	95 895,2	96 349,8	96 802,7	97 254,0	97 703,7	98 151,8	98 598,3	99 043,3	99 486,7	99 907,2
B	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
I	21 267,4	21 307,7	21 348,1	21 388,5	21 429,1	21 469,7	21 510,4	21 551,2	21 592,1	21 554,8
J	8912,0	8928,9	8945,8	8962,8	8979,8	8996,8	9013,8	9030,9	9048,1	9032,4
C	71 094,0	71 228,8	71 363,8	71 499,0	71 634,4	71 770,2	71 906,3	72 042,7	72 179,5	72 267,8
N ^F	34 300,2	34 365,2	34 430,3	34 495,5	34 560,9	34 626,4	34 692,0	34 757,9	34 823,9	34 763,6
N ^R	14 700,0	14 727,9	14 755,8	14 783,8	14 811,8	14 839,9	14 868,0	14 896,2	14 924,5	14 898,7
T	2058,0	2061,9	2065,8	2069,7	2073,6	2077,5	2081,5	2085,4	2089,4	2085,8
D	16 758,1	16 789,8	16 821,6	16 853,5	16 885,4	16 917,4	16 949,5	16 981,7	17 013,9	16 984,5

Таблица 6

Прогнозные значения относительных макроэкономических показателей экономики УР в ценах 2006 г., тыс. руб./чел.

Обозначение	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.
y ^p	86,97	87,49	88,03	88,60	89,21	89,87	90,57	91,33	92,14	92,67
k ^L	405,20	393,46	388,90	385,78	384,20	383,78	384,23	385,70	387,76	383,10
h ^L	120,94	119,30	119,77	120,64	121,97	123,67	125,65	127,97	130,50	133,26
i ^L	26,82	26,38	26,41	26,53	26,75	27,05	27,41	27,84	28,32	28,75
j ^L	11,24	11,06	11,07	11,12	11,21	11,34	11,49	11,67	11,87	12,05
c ^p	46,31	46,59	46,87	47,18	47,50	47,85	48,23	48,63	49,06	49,49
d ^p	10,92	10,98	11,05	11,12	11,20	11,28	11,37	11,46	11,57	11,63

Список литературы

Булгаков В. К., Булгаков О. В. Моделирование динамики обобщающих показателей развития региональных экономических систем России // *Экономика и математические методы*. 2006. Т. 42. № 1. С. 32.

Доходы, расходы и потребление домашних хозяйств в 2002–2006 годах (по итогам выборочного обследования бюджетов домашних хозяйств): Стат. сб. Государственного комитета РФ по статистике, 2006.

Евтушенко Ю. Г. Методы решения экстремальных задач и их применение в системах оптимизации. М.: Наука, 1982.

Закон о бюджете Удмуртской Республики на 1996, ..., 2006 гг.

Кетова К. В. Об одной задаче макроэкономической динамики региона с учетом факторов экономического развития // *Периодический научно-теоретический журнал «Вестник ИжГТУ»*. Ижевск: Изд-во ИжГТУ. 2007. № 3(35). С. 33.

Курейчик В. М. Генетические алгоритмы // *Перспективные информационные технологии и интеллектуальные системы*. 2000. № 1. С. 18.

Лесин В. В., Лисовец Ю. П. Основы методов оптимизации. М.: Изд-во МАИ, 1995.

Основные итоги деятельности Государственного совета УР третьего созыва по правовому обеспечению социально-экономического развития УР. Управление аналитического обеспечения и информационных ресурсов при аппарате Государственного совета УР. Ижевск. 2007.

Основные фонды Удмуртской Республики: Стат. сб. Госкомстата УР. 1996–2006. Ижевск, 2007

Отчетность Федеральной налоговой службы «Отчет о начислении и поступлениях налогов, сборов и иных обязательных платежей в бюджетную систему Российской Федерации», по состоянию на 1 января 2007 г.

Русяк И. Г., Кетова К. В. Построение производственной функции экономической системы региона с учетом человеческого капитала // *Вестник МГУ*. 2008. № 3. (Экономика).

Русяк И. Г., Кетова К. В. Экономико-математическая модель анализа и прогноза фактора человеческого капитала // *Научно-практический журнал «Экономика, статистика, информатика. Вестник УМО»*, [раздел «Статистика и математические методы в экономике»]. М.: Изд-во ГОУ ВПО МЭСИ. № 2. 2007. С. 56–60.

Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Горячая линия Телеком, 2004.

Тенев В. А. Применение генетических алгоритмов с вещественным кроссовером для минимизации функций большой размерности // *Интеллектуальные системы в производстве*. Ижевск: Изд-во ИжГТУ. 2006. № 1. С. 93–107.

Тенев В. А., Паклин Н. Б. Гибридный генетический алгоритм с дополнительным обучением лидера // *Интеллектуальные системы в производстве*. 2003. № 2. С. 181.

Удмуртия в цифрах: стат. сб. Госкомстата УР. 1996–2006. Ижевск, 2007.

Федоренко Р. П. Введение в вычислительную физику. М.: Изд-во МФТИ, 1994.

Muhlenbein H., Schlierkamp-Voosen D. Predictive Models for the Breeder Genetic Algorithm: I. Continuous Parameter Optimization // *Evolutionary Computation*. 1993. Vol. 1. № 1. P. 25–49.